



CEFE
Centro de
Estudos de
Fisiologia do
Exercício

Centro de Estudos de Fisiologia
do Exercício
Universidade Federal de São Paulo



Exposição à altitude para aumentar performance de *endurance* ao nível do mar

Claudio Andre Barbosa de Lira

Julia do Valle Bargieri

Fernanda Patti Nakamoto

Uma das estratégias utilizada desde os anos 40 para aumentar a *performance* de longa duração em atletas é a utilização do treinamento em altitudes elevadas. Nesses ambientes a pressão atmosférica é menor que ao nível do mar, como sabemos a pressão atmosférica é determinada pela soma das pressões parciais dos gases presentes na atmosfera (lei de Dalton), sendo assim a pressão parcial do oxigênio (O_2) em elevadas altitudes está diminuída. Tal alteração determina adaptações fisiológicas, tais como, aumento da ventilação pulmonar e do número de hemácias (a principal adaptação).

As hemácias são produzidas em resposta à liberação de eritropoetina (EPO), um hormônio produzido pelo rim. As hemácias são as principais vias de transporte de O_2 do pulmão para os tecidos, de tal forma que, pelo menos teoricamente quanto maior o número de hemácias maior é a capacidade do sangue de transportar O_2 . Por isso é desejável que um atleta de *endurance* que irá competir na altitude passe a viver nesse ambiente semanas antes do evento.

Em virtude do treinamento e da permanência em altitude elevada acarretar adaptações benéficas no transporte de O_2 mencionadas anteriormente, tal estratégia é comumente utilizada por atletas e treinadores para aumentar a *performance* no nível do mar. Entretanto, os benefícios desta estratégia ainda são controversos, alguns estudos mostraram efeitos benéficos com o treinamento na

altitude (Roskamm et al, 1969; Daniels, Oldridge, 1970; Kanstrup et al, 1984; Terrados et al, 1988; Bigard et al, 1991; Levine, Stray-Gundersen, 1995), ao passo que outros estudos mostraram efeitos desfavoráveis do treinamento de altitude sobre a *performance* ao nível do mar como a redução da massa muscular (Green et al, 1989), redução no consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) (Sutton et al., 1992), limitação na intensidade de treinamento (Levine & Stray-Gundersen, 1995), diminuição do volume plasmático (Surks et al, 1966; Jung et al., 1971), prejuízo das trocas gasosas (Steinacker et al., 1996), diminuição da resposta ventilatória a hipóxia (Steinacker et al., 1996), redução do débito cardíaco (Steinacker et al., 1996), volume sistólico (Alexander et al., 1967) e *overtraining* (Rusko, 1996).

Outro efeito negativo do treinamento em altitude é que os atletas não conseguem manter a intensidade do treinamento em virtude da hipóxia associada a esses ambientes (Levine, Stray-Gundersen, 1992) isso pode acarretar em descondicionamento e queda da *performance*.

Uma solução para tais efeitos negativos discutidos anteriormente é associar os potenciais benefícios da altitude com o treinamento em baixas altitudes, estratégia esta conhecida como “morar alto e treinar baixo”. Esta estratégia é efetiva quando comparada com a tradicional estratégia de treinar na altitude (Levine et al, 1997; Ashenden et al, 2000; Stray-Gundersen et al, 2001; Dehert et al, 2002; Townsend et al, 2002; Roberts et al, 2003; Julian et al, 2004; Katayama et al, 2004).

Sobre esta estratégia, a maioria dos trabalhos aponta um benefício sobre a *performance* e o VO_{2max} , entretanto, existe grande variabilidade entre os estudos. Tal variabilidade é decorrente das diferentes altitudes utilizadas e diferentes períodos de treinamento. A maioria dos trabalhos utiliza altitudes (simuladas ou não) que variam de 2500 a 3000 m acima do nível do mar e períodos de treinamento por volta de quatro semanas.

Um outro aspecto que também merece destaque é por quanto tempo que as adaptações a esta estratégia permanecem depois que o atleta retorna ao nível do mar. Na literatura a maioria dos trabalhos indica que os efeitos benéficos de “morar alto e treinar baixo” permanecem de duas a três semanas após o atleta

retornar ao nível do mar, entretanto, nenhum trabalho, pelo menos de que é do nosso conhecimento, analisou os efeitos tardios desta estratégia. Porém, podemos fazer uma estimativa que tais efeitos permaneçam por um tempo maior, tendo por base o conhecimento da fisiologia humana. Se nós assumirmos o aumento da massa de hemácias como o principal fator para o aumento da *performance* e que a produção de hemácias retorna ao normal assim que a pessoa volta para o nível do mar, o efeito deve permanecer pelo menos pelo tempo de vida da célula, o tempo de vida das hemácias é de aproximadamente quatro meses, porém de dois a três meses em atletas com regime de treinos de alta intensidade (Szygula, 1990). Então se espera que os efeitos comecem a diminuir no final do segundo mês da exposição à altitude e que desapareça completamente após três ou quatro meses.

As principais vantagens do uso na estratégia de “morar alto e treinar baixo” são a utilização dos benefícios fisiológicos da altitude associados com a manutenção da intensidade de treinamento.

Algumas questões de ordem prática devem ser levadas em consideração por atletas e treinadores que desejem utilizar esta estratégia tais como saber se o atleta é responsivo, qual altura o atleta deve ir, seja ela simulada ou não, quanto tempo o atleta deve permanecer na altitude e, finalmente, qual a melhor maneira de se expor à altitude (ambiente montanhoso ou altitude simulada).

Com relação a responsividade dos atletas, teoricamente, apenas os atletas responsivos deveriam ser expostos, entretanto somente serão identificados os atletas responsivos se eles forem submetidos ao estímulo. Mesmo assim, existem problemas para decidir se um determinado atleta sofreu as adaptações esperadas. Mudanças na *performance* e um teste de tempo ou ergoespirometria podem não ser muito confiáveis para fazer o julgamento sobre a resposta de um indivíduo. Um teste de hematócrito parece ser a maneira mais objetiva de estabelecer os efeitos da exposição à altitude, por exemplo, a monitoração da concentração de EPO no sangue pode ser eficaz em identificar os indivíduos não responsivos.

Além disso, as questões de ordem ética também devem ser levadas em consideração. Duas boas razões para banir uma prática que aumente a

performance, tal como o uso da altitude são: que tal prática tenha algum efeito maléfico sobre o organismo ou porque esta técnica dê uma vantagem muito superior a um atleta, quer porque seja muito cara ou porque seja muito nova.

A tabela que vem a seguir resume alguns trabalhos no que diz respeito ao treinamento em altitude e sua repercussão sobre a *performance*.

Tabela 1: Repercussão sobre a performance obtidas por alguns estudos.

Referência	Objetivos/Hipótese	Desenho experimental	Resultados principais	Conclusões
Townsend et al (2002)	A hipótese foi que atletas com altas respostas ventilatórias a hipóxia podem ter maior grau de adaptação ventilatória durante os estágios iniciais do “morar alto e treinar baixo”.	9 triatletas e 24 ciclistas divididos em três grupos: 1-Mora alto treina baixo exposição consecutiva (n=12), 2- mora alto treina baixo com exposição intermitente (n=10), 3-Controle: mora e treina baixo (n=11). Vinte dias de exposição – altitude simulada: 2650m.	A VE_{max} aumentou nos dois grupos experimentais em relação ao grupo controle. A VE_{max} do grupo consecutivo aumentou mais que no outro.	Tanto a exposição consecutiva quanto a intermitente são bons modelos para adaptação a altitudes em atletas bem treinados.
Julian et al (2004)	Saber se a hipóxia intermitente é suficiente para estimular mudanças fisiológicas associadas à melhora da performance de corredores de longa distância.	14 homens e 3 mulheres maratonistas, divididos em dois grupos: 1-mora alto e treina baixo, com 70 min de exposição 5 em 5min durante quatro semanas em altitude simulada, 2-controle.	VO_{2max} , tempo nos 3000 m e EPO não tiveram mudança.	Tais resultados foram decorrentes do pouco tempo de exposição.
Ashenden et al (2000)	Investigar se o aumento de EPO após curta permanência em hipóxia é suficiente para estimular a produção de reticulócitos.	11 sujeitos bem treinados em corridas de média distância foram divididos em dois grupos: 1- morar alto (altitude simulada de 2650 m) e treinar baixo, 2-controle (morar baixo e treinar baixo).	Os atletas do grupo 1 foram submetidos de 8 a 12 h e tiveram um aumento de 57% na EPO. Não foi encontrada diferença na produção de reticulócitos.	A exposição à altitude moderada é insuficiente para estimular a produção de reticulócitos, a despeito do aumento de EPO.

Dehnert et al (2002)	Investigar a aclimatização hematológica a duas semanas de treinamento intensivo em baixa altitude (morar alto e treinar baixo) e seu efeito sobre a performance ao nível do mar em atletas altamente treinados comparados com atletas igualmente treinados, porém em baixa altitude.	21 triatletas (15 homens e 5 mulheres) foram divididos em 2 grupos: 1- “morar alto treinar baixo” e 2- “morar baixo treinar baixo”. Altitude: 1956 m (altitude simulada), duração: 2 semanas	O VO_{2max} subiu no grupo 1 e a velocidade do limiar anaeróbico não mudou. A EPO aumentou após a 1ª, 7ª e 14ª noite de exposição.	A eritropoese pode ser estimulada pela situação de “morar alto e treinar baixo”, criando benefícios ao treinamento.
Stray-Gundersen et al (2001)	Investigar o efeito do “morar alto e treinar baixo” em corredores de elite. A hipótese foi que a aclimatização em 2500m e treinamento de alta intensidade em 1250m aumentaria a performance de corredores de longa e meia distância.	14 homens e 8 mulheres durante 25 dias numa altitude de 2500m e treinavam a 1250m. O trabalho não tinha grupo controle para efeito de comparação com o grupo experimental.	O tempo do teste de 3000m caiu 1,1%. O VO_{2max} subiu 3%, a VE_{Max} , a hemoglobina e o hematócrito subiram.	Foi concluído que treinamento com essa situação aumenta a performance de atletas de elite.

<p>Levine et al (1997)</p>	<p>Mostrar que a aclimatização em altitude de 2500m associada ao treinamento em baixa altitude (1250m) aumenta a performance ao nível do mar em corredores treinados.</p>	<p>39 corredores competitivos (27 homens e 12 mulheres) foram divididos em 3 grupos:1-“mora alto treina baixo”, 2-“mora alto e treina alto” e 3-“mora baixo e treina baixo”(150m)</p>	<p>A aclimatização à moderada altitude combinada com o treinamento em altitude baixa resulta na melhora da performance do 5000m (3,5%). Tal melhora não foi observada quando a aclimatização foi combinada com treinamento em altitude moderada. O mecanismo para esta melhora foi o aumento na capacidade de transporte de O₂ e do VO_{2max}. O limiar ventilatório aumento no grupo um.</p>	<p>Corredores que moram em altitude aumentam a massa de hemácias e a capacidade de transportar O₂, acarretando em aumento do VO_{2max}. Esse aumento do VO_{2max} foi traduzido em aumento da performance.</p>
----------------------------	---	---	--	---

<p>Roberts et al (2003)</p>	<p>Determinar a <i>performance</i> e as respostas dos sistemas energéticos aeróbio e anaeróbio submetidos a hipóxia.</p>	<p>Treino semanal de 200-400 km/semana. 19 ciclistas (14 homens e 5 mulheres) foram divididos em três grupos expostos a 5, 10 ou 15 dias de hipóxia. Treinamentos: 600m e altitude simulada: 2650 m.</p>	<p>O principal achado deste estudo foi o aumento observado na potência máxima média durante 4 min, no consumo máximo e na capacidade anaeróbia em atletas expostos a 5, 10 e 15 dias de altitude simulada, realizando treinamento em baixa altitude.</p>	<p>Atletas bem treinados podem utilizar períodos curtos de exposição a altitude (“morar alto e treinar alto”) como preparação para muitas competições. Os resultados são uma evidência de que melhoras na <i>performance</i> após o treinamento nessa situação podem ser derivadas de um aumento na capacidade anaeróbia.</p>
-----------------------------	--	--	--	---

<p>Katayama et al (2004)</p>	<p>1-Analisar se o VO_2 no <i>steady-state</i> para uma dada velocidade de corrida tem queda depois de exposição intermitente de curta duração à hipóxia no período de repouso em atletas treinados.</p> <p>2-Analisar se a mudança no VO_2 durante exercício submáximo está correlacionado a uma mudança na performance de <i>endurance</i> após exposição intermitente de curta duração a hipóxia.</p>	<p>8 homens (grupo de hipóxia) e 7 homens (grupo controle). Hipóxia: 12% de O_2, 3 horas por dia durante 14 dias</p>	<p>1- Sem modificação nos parâmetros hematológicas; significativas</p> <p>2- Sem modificação significativas no VO_{2pico}, VCO_{2pico}, VE_{pico}, R_{pico} e FC_{pico} no teste máximo;</p> <p>3-aumento significativo do tempo de exaustão de corrida no teste máximo no grupo de hipóxia;</p> <p>4-VO_2 e FC no teste submáximo diminuíram no grupo hipóxia;</p> <p>5-No teste de 3000m o tempo do grupo hipóxia após o tratamento foi menor, mas não estatisticamente. No controle não houve alteração, a diferença entre os grupos foi significativa.</p>	<p>A melhora na economia de movimento na corrida, em virtude da exposição de curta duração a hipóxia, poderia contribuir parcialmente para melhorar a <i>performance de endurance</i> em atletas treinados</p>
------------------------------	--	---	--	--

Referências Bibliográficas

Alexander JK, Hartley LH, Modelski M, Grover RF. Reduction of stroke volume during exercise in man following ascent to 3,100 m altitude. *J Appl Physiol* 1967;23:849-58.

Ashenden MJ, Gore CJ, Dobson GP, Boston TT, Parisotto R, Emslie KR, Trout GJ, Hahn AG. Simulated moderate altitude elevates serum erythropoietin but does not increase reticulocyte production in well-trained runners. *Eur J Appl Physiol* 2000;81: 428-35.

Berglund B, Gennser M, Ornhagen H, Ostberg C, Wide L. Erythropoietin concentrations during 10 days of normobaric hypoxia under controlled environmental circumstances. *Acta Physiol Scand* 2002;74:225-9.

Bigard AX, Brunet A, Guezennec CY, Monod H. Skeletal muscle changes after endurance training at high altitude. *J Appl Physiol* 1991;71:2114-21.

Daniels J, Oldridge N. The effects of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners. *Med Sci Sports* 1970;2:107-12.

Dehnert C, Hutler M, Liu Y, Menold E, Netzer C, Schick R, Kubanek B, Lehmann M, Boning D, Steinacker JM. Erythropoiesis and performance after two weeks of living high and training low in well trained triathletes. *Int J Sports Med* 2002;23: 561-6.

Geiser J, Vogt M, Billeter R, Zuleger C, Belforti F, Hoppeler H. Training high--living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. *Int J Sports Med* 2001;22:579-85.

Green HJ, Sutton JR, Cymerman A, Young PM, Houston CS. Operation Everest II: adaptations in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 1989;66:2454-61.

Heinicke K, Prommer N, Cajigal J, Viola T, Behn C, Schmidt W. Long-term exposure to intermittent hypoxia results in increased hemoglobin mass, reduced plasma volume, and elevated erythropoietin plasma levels in man. *Eur J Appl Physiol* 2003;88:535-43.

Julian CG, Gore CJ, Wilber RL, Daniels JT, Fredericson M, Stray-Gundersen J, Hahn AG, Parisotto R, Levine BD. Intermittent normobaric hypoxia does not alter performance or erythropoietic markers in highly trained distance runners. *J Appl Physiol* 2004;96:1800-7.

Jung RC, Dill DB, Horton R, Horvath SM. Effects of age on plasma aldosterone levels and hemoconcentration at altitude. *J Appl Physiol* 1971;31:593-7.

Kanstrup IL, Ekblom B. Blood volume and hemoglobin concentration as determinants of maximal aerobic power. *Med Sci Sports Exerc* 1984;16:256-62.

Katayama K, Sato K, Matsuo H, Ishida K, Iwasaki K, Miyamura M. Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 2004;92:75-83.

Klausen T, Christensen H, Hansen JM, Nielsen OJ, Fogh-Andersen N, Olsen NV. Human erythropoietin response to hypocapnic hypoxia, normocapnic hypoxia, and hypocapnic normoxia. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;74:475-80.

Levine BD, Stray-Gundersen J. A practical approach to altitude training: where to live and train for optimal performance enhancement. *Int J Sports Med* 1992;13:209-12.

Levine BD, Stray-Gundersen J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 1997;83:102-12.

Roberts A.D., Clark A.A., Townsend M.E., Anderson C.J., Hahn A.G. Changes in performance, maximal oxygen deficit after 5, 10 and 15 days of live high: train low altitude exposure. *Eur J Appl Physiol* 2003;88:390-395.

Roskamm H, Landry F, Samek L, Schlager M, Weidemann H, Reindell H. Effects of a standardized ergometer training program at three different altitudes. *J Appl Physiol* 1969;27:840-7.

Rusko HR. New aspects of altitude training. *Am J Sports Med* 1996;24:48-52.

Sakata S, Shimizu S, Kishi T, Hirai K, Mori I, Ohno Y, Ueda M, Takaki M, Kohzuki H, Okamoto S, Shimamoto I, Yanagi S, Ogoshi K, Sherchand JB. Correlation between erythropoietin and lactate in humans during altitude exposure. *Jpn J Physiol* 2000;50:285-8.

Steinacker JM, Halder A, Liu Y, Thomas A, Stauch M. Hypoxic ventilatory response during rest and exercise after a Himalayan expedition. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;73:202-9.

Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol* 2001; vol. 91:1113-20.

Surks MI, Chinn KS, Matoush LR. Alterations in body composition in man after acute exposure to high altitude. *J Appl Physiol* 1966;21:1741-6.

Sutton JR, Reeves JT, Groves BM, Wagner PD, Alexander JK, Hultgren HN, Cymerman A, Houston CS. Oxygen transport and cardiovascular function at extreme altitude: lessons from Operation Everest II. *Int J Sports Med* 1992;13:13-8.

Szygula Z. Erythrocytic system under the influence of physical exercise and training. *Sports Med* 1990;10:181-97.

Terrados N, Melichna J, Sylven C, Jansson E, Kaijser L. Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;57:203-9.

Townsend NE, Gore CJ, Hahn AG, McKenna MJ, Aughey RJ, Clark SA, Kinsman T, Hawley JA, Chow CM. Living high-training low increases hypoxic ventilatory response of well-trained endurance athletes. *J Appl Physiol* 2002; vol. 93:1498-505.

© 2004 – Centro de Estudos de Fisiologia do Exercício
Este artigo somente poderá ser reproduzido para fins educacionais sem fins
lucrativos